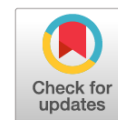


Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar77796>

Аддитивные технологии в военном деле

© С.А. Пелешок¹, А.Я. Фисун², А.В. Морозов², С.В. Калинин², М.И. Елисеева¹¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;² Военный инновационный технополис «Эра», Анапа, Россия

С целью определения особенностей и основных путей применения аддитивных технологий в рамках научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2020» проведен круглый стол. Аддитивные технологии за последнее время совершили значительный рывок благодаря совершенствованию электронной вычислительной техники и программного обеспечения (ПО), созданию широкой линейки 3D-принтеров, печатающих различными современными методами и материалами. Лидируют в освоении 3D-печати в качестве потребителей следующие отрасли: авиастроение (33 %), атомная промышленность (30 %), оборонно-промышленный комплекс (13 %), а также медицина (11 %), образование и др. В кратком изложении приведена часть выступлений докладчиков научного мероприятия, посвященная использованию аддитивных технологий в образовании и медицине. Для достижения Россией позиции одного из лидеров на глобальном технологическом рынке развивается сеть образовательных учреждений и обеспечение 3D-принтерами учебных учреждений. Вузы страны и, в частности, Московский государственный технический университет имени Баумана приступили к выработке у выпускников профессиональных компетенций в части аддитивных технологий, материалов и оборудования. Другие вузы применяют реверсивный инжиниринг для научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, запуска нового производства. В медицине создаются модели сложных элементов скелета человека, в частности отдельные кости и различные проекции черепа, кости позвоночника, кисти и стопы, а также некоторые макеты органов из твердых и полумягких пластиков для совершенствования учебного процесса. Возможности 3D-печати макетов патологий органов используются для предоперационного планирования и репетиции операции в торакальной и сердечно-сосудистой хирургии, а также для обучения студентов и врачей, моделирования гемодинамики и тестирования медицинских устройств. Рассматриваются альтернативные материалы и способы изготовления шин и лонгет для фиксации повреждений при заболеваниях верхних конечностей. Для создания в стоматологии изделий из керамики вместо литья под давлением и прессования предложена технология аддитивного производства Lithography-based Ceramics Manufacturing печати суспензией на зарубежном оборудовании. Трехмерная печать частично восполнила потребность в средствах индивидуальной защиты от новой коронавирусной инфекции, в частности посредством создания многоразовых масок, различных переходников, держателей лицевых масок, накладок на дверные ручки и др. Участники круглого стола пришли к общему мнению, что результаты научной и инновационной деятельности в области аддитивных технологий необходимо апробировать, внедрять и использовать в учебном процессе, практической деятельности, в том числе в военной медицине (библ.: 6 ист.).

Ключевые слова: 3D-печать в медицине; аддитивные технологии; инновации; медицинские изделия; предоперационное планирование; программное обеспечение; образование.

Как цитировать:

Пелешок С.А., Фисун А.Я., Морозов А.В., Калинин С.В., Елисеева М.И. Аддитивные технологии в военном деле // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 2. С. 5–12. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar77796>

Scientific article

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar77796>

Additive technologies in military affairs

© Stepan A. Peleshok¹, Aleksandr Ya. Fisun², Andrey V. Morozov², Sergey V. Kalinin²,
Marina I. Eliseeva¹

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Military-Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Russia

In order to determine the features and main ways of using additive technologies within the framework of the scientific and business program of the International Military-Technical Forum "Army-2020", a round table was held. In recent years, additive technologies have made a significant leap forward thanks to the improvement of electronic computing technology and software (software), the creation of a wide range of 3D printers that print using various modern methods and materials. The following industries are leading in the development of 3D printing as consumers: aircraft construction (33%), nuclear industry (30%), military-industrial complex (13%), as well as medicine (11%), education, etc. The summary contains part of the speeches of the speakers of the scientific event on the use of additive technologies in education and medicine. To achieve Russia's position as one of the leaders in the global technology market, a network of educational institutions is developing and the provision of educational institutions with 3D printers. The country's universities and, in particular, Bauman Moscow State Technical University began to develop professional competencies among graduates in the field of additive technologies, materials and equipment. Other universities use reverse engineering for research and development, the launch of new production. In medicine, models of complex elements of the human skeleton are created, in particular, individual bones and various projections of the skull, bones of the spine, hand and foot, as well as some models of organs from hard and semi-soft plastics to improve the educational process. The capabilities of 3D printing of mock-ups of organ pathologies are used for preoperative planning and rehearsal of an operation in thoracic and cardiovascular surgery, as well as for training students and doctors, modeling hemodynamics and testing medical devices. Alternative materials and methods for making splints and splints for fixing injuries and diseases of the upper limb are considered. To create ceramic products in dentistry, instead of injection molding and pressing, the technology of Lithography-based Ceramics Manufacturing printing with a suspension on foreign equipment was proposed. Three-dimensional printing has partially filled the need for personal protective equipment against the new coronavirus infection, in particular through the creation of reusable masks, various adapters, holders of face masks, linings on door handles, etc. The participants of the round table agreed that the results of scientific and innovative activities in the field of additive technologies should be tested, implemented and used in the educational process, practical activities, including military medicine (bibl.: 6 refs).

Keywords: 3D printing in medicine; additive technologies; innovations; medical devices; preoperative planning; software; education.

To cite this article:

Peleshok SA, Fisun AY, Morozov AV, Kalinin SV, Eliseeva MI. Additive technologies in military affairs. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(2):5–12. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar77796>

Received: 01.06.2021

Accepted: 08.06.2021

Published: 29.06.2021

ВВЕДЕНИЕ

На главной научной площадке Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) в Военно-патриотическом парке культуры и отдыха Вооруженных сил Российской Федерации (ВС РФ) в г. Кубинка Московской области в конференц-зале Центрального выставочного комплекса «Патриот» 25 августа 2020 г. в рамках научно-деловой программы Международного военно-технического форума «Армия-2020» прошел круглый стол на тему «Перспективы использования аддитивных технологий при создании и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники».

В нем приняли участие более 40 человек, в том числе 6 профессоров, 9 докторов и 14 кандидатов наук, представляющих более 20 организаций России, в том числе Военно-научный комитет ВС РФ (ВНК ВС РФ), Главное управление научно-исследовательской деятельности и технологического сопровождения передовых технологий (инновационных исследований) МО РФ (ГУНИД МО РФ), Главное военно-медицинское управление МО РФ (ГВМУ МО РФ), 3-й и 4-й центральные научно-исследовательские институты МО РФ (3-й и 4-й ЦНИИ МО РФ), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ФГБУ ВО) «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ФГБУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», ФГБУ ВО «Национальный исследовательский университет МИЭТ», Общество с ограниченной ответственностью (ООО) «Компания Импринта», ООО «3Dtool».

Цель круглого стола — определить особенности и основные пути применения аддитивных технологий в образовательном и лечебном процессах в ВС РФ. Сформулировать перечень проблемных вопросов внедрения аддитивных технологий.

Во вступительном слове модератора круглого стола было отмечено, что аддитивные технологии за последнее время совершили значительный рывок благодаря быстрому совершенствованию электронной вычислительной техники и программного обеспечения (ПО). Сегодня 3D-принтеры, представляющие аддитивное производство, способны работать не только с полимерными материалами, но и с инженерными пластиками, композитными порошками, различными типами металлов и керамикой.

Аддитивное производство позволяет использовать ровно столько материала, сколько требуется для конкретной детали. Среди применений аддитивных технологий наиболее востребовано производство функциональных изделий для нужд предприятий промышленности, в военно-промышленном комплексе, медицине и там, где существует острая потребность в изготовлении высокоточных изделий и их прототипов в кратчайшие сроки.

Аддитивные технологии представляют огромное поле для научно-исследовательской деятельности. Проблема производительности решается усовершенствованием оборудования и технологии. В настоящее время производители оборудования и ученые достигли ощутимых результатов в этом вопросе.

Уровень проникновения 3D-печати различен от отрасли к отрасли и зависит от преимуществ, которые дают аддитивные технологии конкретной отрасли, а также от барьеров для их использования. Лидируют в освоении 3D-печати следующие отрасли: авиация, космос, автомобилестроение, а также медицина и образование.

При всех плюсах 3D-печать пока не достигла такого уровня зрелости, чтобы печатать детали любой формы и сложности в неограниченных объемах по конкурентоспособной цене.

Производители все еще ведут постоянные исследования и разработки, работы по совершенствованию оборудования, технологических процессов, расширению линейки и изобретению новых материалов, адаптированных под аддитивные технологии. Переход на более высокий уровень зрелости определяется технологической готовностью организации, отрасли, страны.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На круглом столе с докладами выступили представители различных научных, образовательных и производственных организаций:

1. Григорьев Е. А., исполнительный директор ООО «Русатом — Аддитивные Технологии» Госкорпорации Росатом

«Дорожная карта развития аддитивных технологий в Российской Федерации»

Мировой рынок аддитивных технологий составил в 2018 г. 9,8 млрд долл., за период с 2012 по 2018 г. рост составил 28 % в год.

С целью достижения РФ позиции одного из лидеров на глобальных технологических рынках в высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» 28 апреля 2020 г. утверждена дорожная карта в части развития аддитивных технологий.

Ее основные задачи:

а) Создание условий расширенного внедрения производства — центров аддитивной печати, «облачной» системы по новым материалам и веществам, систем цифрового конструирования.

б) Обеспечение сертификации и аттестации изделий на основе аддитивных технологий.

в) Выполнение НИОКР по развитию ключевых технологий — принтеров, систем управления, новых материалов.

г) Совершенствование нормативной базы.

д) Развитие сети образовательных учреждений.

е) Обеспечение 3D-принтерами учебных учреждений.

ж) Создание и развитие производственной базы по выпуску продуктов.

з) Стимулирование российских промышленных предприятий для перехода на новую производственную модель.

и) Кратное масштабирование производственной базы.

Одним из вариантов решения является создание консорциума.

В атомной и авиакосмической промышленности применение аддитивных технологий в производстве позволит снизить стоимость типовых деталей до 85 %.

Перспективны мобильные аддитивные решения. Так, установленный на борту судна или в контейнере 3D-принтер позволяет обеспечить медицинский персонал любым необходимым инструментом, а также получить возможность изготовления запасных частей для медицинского оборудования, индивидуальных протезов и даже зубных коронок [1].

2. Пелешок С.А., ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра Военно-медицинской академии (ВМедА) им. С.М. Кирова

А) «Особенности использования 3D-печати в медицине для создания шин и лонгет при лечении переломов костей»

В настоящее время рассматриваются альтернативные способы изготовления и материалы для фиксации повреждений и заболеваний предплечья и кисти, в частности с использованием аддитивных технологий (3D-печати).

Учитывая слабые стороны классических и современных методов лечения неосложненных переломов, на базе научно-исследовательского центра ВМедА им. С.М. Кирова и Военного инновационного технополиса «ЭРА» совместно с операторами научной роты для иммобилизации при травмах и неосложненных переломах костей реализована методика моделирования и изготовления индивидуальных шин и лонгет [2].

Процесс создания индивидуальной модели условно делится на три части: получение данных трехмерных изображений, цифровая обработка изображений и трехмерная печать. Точность трехмерного печатного объекта зависит от точности предварительно полученного изображения.

Бесконтактный ручной сканер при сканировании поверхности верхней конечности может заменить основные методы визуализации, такие как компьютерная и магнитно-резонансная томографии (КТ и МРТ). Задача проектирования индивидуальных шин, лонгет и ортезов заключается в создании оболочки конструкции в зависимости от места повреждения конечности с окнами с целью контроля плотности и толщины вентилируемой структуры относительно поверхности анатомического сегмента.

Обработка данных осуществляется на графической станции (персональном компьютере) со следующими минимальными требованиями: Windows 7 Pro SP1 (64),

процессор Intel Core I3, объем оперативной памяти 6 Гб, видеокарта Nvidia GeForce GTX 1060 (6 Гб).

Выбор конкретного ПО для моделирования может быть осуществлен среди существующих доступных групп программ полигонального и автоматизированного проектирования.

С использованием доступного ПО как Meshmixer, Blender, Geomagic Freeform plus, VTK, OsiriX Imaging Software, 3D Slicer, InVesalius, Autodesk 3Ds Max, SolidWorks и др. выполняется один или несколько этапов подготовки к 3D-печати: конвертация результатов исследования из формата DICOM в .stl или ему подобный файл (WRL, OBJ, 3MF); сегментация, очистка от дефектов; преобразование общепринятых файлов (.stl и др.) в формат (G-код), подходящий для работы 3D-принтера (слайсинг).

С помощью специализированного коммерческого ПО (Magics, Geomagic, 3-matic и др.) существенно упрощается процесс подготовки данных к 3D-печати, так как с использованием перечисленных выше программ решаются все типовые задачи: лечение сеток; сегментация на несколько частей; размещение в камере построения (печатном столе 3D-принтера); создание поддержек и опор.

Процесс моделирования лонгеты включает несколько этапов:

- создание оболочки-каркаса вокруг руки;
- удаление лишних геометрических составляющих;
- разделение при необходимости заготовки на две составные части;
- создание гигиенических отверстий на поверхности лонгеты.

Полученный объект сохраняется в формате STL (*.stl) и на цифровом носителе переносится на 3D-принтер для печати.

Наиболее распространенным и экономичным методом 3D-печати, доступным в настоящее время, является моделирование методом послойного наплавления (FDM — Fused deposition modelling).

Подготовка настроек печати выполняется в ПО (слайсере), например Cura 3D. Сформированное задание в формате G-CODE (.gcode) запускается на 3D-принтере.

Печать шин (лонгет) может производиться на бюджетных 3D-принтерах с классической (декартовой) механикой типа Picaso (Россия), Raise, Ender 3 Creality (КНР) или им подобным соплом 0,4–1,0 мм. После печати конструктивные поддержки удаляются механическим способом.

Из широко распространенных пластиков для печати наиболее целесообразно использовать гипоаллергенный полилактид (PLA).

Созданные с помощью 3D-печати лонгеты, шины и ортезы могут быть использованы для иммобилизации неосложненных переломов костей, в том числе с наличием локальных травм и ожогов, а также при некоторых заболеваниях кисти и предплечья, связанных с нарушениями функции рук, деформацией суставов, повреждением нервов и сухожилий.

Б) «Опыт применения 3D-печати для совершенствования образовательного процесса в медицине»

Изучение анатомии человека осуществляется с использованием учебников, различных атласов и трупного материала. Текстовая информация в учебниках и двухмерные изображения различных атласов, отличаются своим стилем составления и масштабом изображений, и они не дают полного трехмерного и послойного представления студентам об анатомии изучаемого органа. Изучение анатомии на человеческом трупе более предпочтительно, но не всегда широко доступно из-за различных этических и юридических вопросов, и кроме того, на трупе нет никаких обозначений анатомических структур частей тела, которые необходимы для изучения костей скелета и органов.

С использованием 3D-технологий созданы модели сложных элементов скелета человека, в частности отдельные кости и различные проекции черепа, кости позвоночника, кисти, а также некоторые макеты органов из твердых и полумягких пластиков. Во время занятий в академии частью учебного процесса являются демонстрация и широкое использование при самоподготовке макетов органов и костей, изготовленных с помощью 3D-печати.

Медицина, и в частности хирургия, возможно, последняя сфера деятельности с высоким уровнем риска, в которой хирурги до сих пор еще мало репетируют перед началом лечения. До настоящего времени в хирургической практике обучение чаще всего проходило по принципу: увидел операцию один или несколько раз, провел такую же операцию многократно самостоятельно, затем обучил другого специалиста [2].

Хирургу оттачивать мастерство проведения сложных операций способны помочь компьютерная диагностика совместно с трехмерными технологиями. На основе снимков внутренних органов (КТ и/или МРТ) 3D-печать воссоздает сложные физические модели патологии органов.

Использование 3D-технологий позволяет сократить вероятность ошибки до минимума. Так, имея физический макет органа, который предстоит оперировать, хирург может его изучить, прорепетировать и намного лучше подготовиться к проведению операции.

В постдипломной подготовке для отработки и совершенствования мануальных навыков, а также для закрепления знаний нормальной и патологической анатомии используются симуляционные модели и муляжи. В ВМедА им. С.М. Кирова симуляционные 3D-макеты применяются в спинальной нейрохирургии для отработки различных доступов к спинному мозгу и телам позвонков, служат для отработки техники различных оперативных вмешательств — стабилизации сегментов позвоночника, вертебропластики, декомпрессивных и эндоскопических операций.

3D-технологии открывают большие перспективы в сфере обучения, развивают нестандартное мышление

и повышают уровень подготовки обучающихся, что в итоге благоприятным образом отражается на качестве оказания медицинской помощи [2].

3. Железняк И.С., докт. мед. наук, начальник кафедры (рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики) ВМедА им. С.М. Кирова

«Использование аддитивных технологий в профилактике распространения новой коронавирусной инфекции»

Санитарно-эпидемиологическая ситуация по COVID-19 на начальном этапе привела к высокой потребности в средствах индивидуальной защиты (СИЗ) промышленного производства и профилактики [3].

Используемая в качестве резервного СИЗ ватно-марлевая повязка не обеспечивает необходимую защиту органов дыхания. В связи с этим было разработано резервное СИЗ, которое обеспечивает защиту не ниже медицинской маски.

Технология создания многоразовой маски включала печать на 3D-принтере корпуса и фиксирующего колпачка фильтра маски. В конструкции многоразовой маски также использовались резинки, оконный уплотнитель на клеевой основе для обеспечения герметичности и в качестве фильтрующего элемента 1–2 ватных диска или фильтры от аппарата искусственной вентиляции легких (ИВЛ).

Маски трех размеров изготавливались из биосовместимого пластика PLA. Время их печати составляло 7 ч. Маски использовались многократно, дезинфицировались 70 % раствором этилового спирта, обеспечивали лучшую герметичность по сравнению с медицинской маской, и при их ношении не запотевали очки.

Использование в многоразовой маске в качестве фильтра ватных дисков обеспечивало защиту на уровне медицинской маски (2 ч) и применялось в «серой зоне». Фильтр ИВЛ в маске обеспечивал защиту на уровне респиратора, что позволяло ее использовать в «красной зоне».

Также разработанные и изготовленные на 3D-принтерах переходники для установки на маски для подводного плавания вместо дыхательной трубки одного или двух фильтров ИВЛ, держатели лицевых масок, накладки на дверные ручки использовались в профилактических мероприятиях при COVID-19 [3].

Разрабатывается программа для сегментации при подсчете объема поражения легочной паренхимы.

Технологии 3D-моделирования и 3D-печати позволяют быстро на местах создавать прототипы необходимых устройств и организовывать их мелкосерийное производство.

4. Кушнарв С.В., преподаватель кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики ВМедА им. С.М. Кирова

«Возможности 3D-печати в предоперационном планировании кардиохирургических операций»

Развитие возможностей 3D-печати в кардиохирургии идет не только в направлении образовательного процесса (обучение студентов и ординаторов), моделирования

гемодинамики (использование 3D-модели аортального клапана с тяжелым стенозом для моделирования не только анатомических структур, но и функциональных характеристик), разработки и тестирования медицинских устройств (проектирование и печать прототипов аорты с синдромом Марфана, по форме которых в последующем изготавливались (шились) искусственные имплантаты для фиксации восходящей дуги аорты), но и в направлении предоперационного планирования [4].

Разработанный технологический процесс создания предоперационной 3D-модели в кардиохирургии начинался с получения данных сканирования (DICOM), затем сегментации, создания виртуальной модели, подготовки к печати и заканчивался собственно 3D-печатью, при необходимости модель подвергалась постобработке.

Сегментация осуществлялась с помощью программы 3D Slicer. Исходными данными являлись постконтрастные DICOM-изображения, полученные по усовершенствованной методике. На каждом срезе послойно выделялись зоны фиброза, обозначаемые цветом, отличным от цвета здорового миокарда (красного). Выделенные зоны интереса суммировались между собой и сохранялись в цифровую 3D-модель в формате .stl.

После сегментации первичная 3D-модель обрабатывалась и подготавливалась к печати в программе Meshmixer, которая позволяла выполнять выравнивание, сглаживание, наращивание областей.

Подготовленную 3D-модель загружали в программу Cura 3D для генерации G-code, который представляет собой набор команд для 3D-принтера [4].

Печать осуществляли методом послойного наплавления гибким полиуретаном. Распечатанная 3D-модель обрабатывалась механическим и термическим способами и использовалась для планирования оперативных вмешательств.

Продемонстрирован пример использования 3D-модели для планирования операции расширенной пластики левого желудочка после инфаркта миокарда. По собственным результатам исследования планирование оперативных вмешательств с использованием 3D-моделей снижало длительность полного искусственного кровообращения и пережатия аорты, а также пребывание пациентов в палате интенсивной терапии [4].

5. Шишов А.Ю., директор НИИ конструктивных материалов и технологических процессов МГТУ им. Н.Э. Баумана

«Развитие центра аддитивных технологий МГТУ им. Н.Э. Баумана»

В настоящее время МГТУ им. Н.Э. Баумана осуществляет деятельность в направлении выработки у выпускников профессиональных компетенций в части аддитивных технологий, материалов и оборудования.

На факультете машиностроительных технологий с 2017 г. производится набор в группу бакалавриата по специальности «лазерные аддитивные технологии».

Обучение проводится на оборудовании, которое разработано в рамках НИОКР, а также на других современных высокотехнологичных установках по собственным программам. По аддитивным технологиям в МГТУ им. Н.Э. Баумана защищено уже около десяти диссертаций.

В области аддитивных технологий НОЦ «Центр аддитивных технологий» университета сконцентрировал свою деятельность на селективном и коаксиальном лазерном плавлении (КЛП, DMD) и изготовлении изделий из металлических порошковых материалов.

В течение 5 лет была изготовлена линейка отечественных опытно-промышленных комплексов для аддитивного производства с программными отечественными продуктами:

- пятикоординатный комплекс для выращивания изделий;
- специализированная опытно-промышленная установка селективного лазерного плавления для производства изделий из порошковых материалов;
- установка для создания изделий из реактивных материалов, в том числе из титана, алюминия, вольфрама и других металлов.

Представлен цикл аддитивного производства различных изделий из порошковых материалов, поставляемых сторонними организациями.

6. Ганьшин В.К., руководитель Проектного центра Российского государственного социального университета (РГСУ)

«Применение аддитивных технологий для осуществления механического реверсивного инжиниринга»

Одной из областей деятельности Регионального координационного центра при РГСУ является реверсивный инжиниринг, который позволяет создавать производственные проекты на основе уже существующих изделий с целью анализа, улучшения или копирования.

Реверсивный инжиниринг используется для запуска нового производства, научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок, создания заново утраченной технологической документации [5].

В центре освоен процесс реверсивного инжиниринга, который включает следующие этапы:

- изучение процесса эксплуатации и свойств технического объекта, подвергаемого реверсивному инжинирингу;
- получение полигональной модели (облака точек) посредством объемной оцифровки, содержащей всю необходимую информацию о геометрических параметрах объекта;
- построение моделей, редактируемых системой автоматизированного проектирования (САПР), на основании полученных данных 3D-сканирования с помощью программной среды GOM Inspect и САПР (например, Autodesk Inventor Professional 2019);

- внесение изменений в конструкцию моделей на основании требований технического задания или с целью оптимизации процесса эксплуатации (при необходимости);
- разработка технологического процесса производства и написание управляющих программ (при необходимости).

Продемонстрированы примеры использования реверсивного инжиниринга, в том числе комплектов для аппаратов ИВЛ и др.

7. Сгонов Н.М., заместитель генерального директора ООО «Энергоавангард»

«Аддитивное производство изделий из высокоэффективной керамики»

Для создания изделий из керамики вместо литья под давлением и прессования предложена технология аддитивного производства (Lithography-based Ceramic Manufacturing — LCM) [6].

Принципиальная схема процесса LCM следующая: синий свет длиной волны 460 нм, исходящий от светодиодного проектора и проходящий через оптическую систему в ванне, отверждает светочувствительный состав и создает на платформе построения заданное программой изделие.

Четыре различные марки зарубежного оборудования позволяют создавать изделия с разрешением от 25 до 75 мкм, толщиной слоя от 10 до 150 мкм, с объемом построения (Д × Ш × В) от 64 × 40 × 170 до 190 × 120 × 500 мм, со скоростью построения до 150 слоев в час.

Для печати используется суспензия, получаемая смешиванием порошка со связующим элементом.

В качестве порошкового материала для печати может выступать оксид алюминия, диоксид циркония, нитрид кремния, двуокись кремния, трикальцийфосфат и гидроксипатит.

Оборудование использует такое количество материала, которое необходимо для выращивания изделий. Суспензия, оставшаяся после процесса печати, может использоваться повторно.

Приведены примеры успешного использования различных материалов в промышленности и медицине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обсуждения:

1. Определены основные направления по внедрению и применению аддитивных технологий при создании вооружения, военной и специальной техники.

2. Сформированы перечни проблемных вопросов внедрения аддитивных технологий.

3. Предложены пути решения проблемных вопросов.

Участники круглого стола выработали следующее решение: результаты научной и инновационной деятельности в области аддитивных технологий необходимо апробировать, внедрять и использовать в учебном процессе, в практической деятельности, в том числе и в военной медицине.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова».

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турундаев М.А. Дорожная карта развития аддитивных технологий в РФ // Роботизация Вооруженных сил Российской Федерации: сборник статей V военно-научной конференции. Анапа, 2020. С. 84–86.
2. Титова М.В., Пелешок С.А., Елисеева М.И. Трехмерная печать в хирургическом планировании и медицинском образовании // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2020. Т. 39, № S3–5. С. 215–221.
3. Железняк И.С., Пелешок С.А., Ширшин А.В., и др. Использование технологии 3D-печати для профилактики новой коронавирусной инфекции COVID-19 // Состояние и перспективы развития науки по направлению «Биотехнические системы и технологии»: сборник статей 2-й Всероссийской научно-технической конференции. Анапа, 2020. Т. 1. С. 7–14.

4. Кушнарев С.В., Ширшин А.В. Создание трехмерных физических моделей на основе изображений компьютерной томографии (первый опыт) // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2018. № 4. С. 53–56.
5. Винниченко А.В. Замещающие технологии реверсивного инжиниринга в аддитивных технологиях // Научные исследования молодых ученых: сборник статей V Международной научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 54–58.
6. Глазунов В.С., Черепанова М.В. Применение аддитивных технологий в производстве керамических изделий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2018. № 4. С. 174–187.

REFERENCES

1. Turundaev MA. Roadmap for the development of additive technologies in the Russian Federation. *Robotization of the*

Armed Forces of the Russian Federation: collection of articles of the V military scientific conference. Anapa; 2020: 84–86. (In Russ.)

2. Titova MV, Peleshok SA, Eliseeva MI. Three-dimensional printing in surgical planning and medical education. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2020; 39(S3–5):215–221. (In Russ.)
3. Zheleznyak IS, Peleshok SA, Shirshin AV, et al. Using 3D printing technology to prevent a new coronavirus infection COVID-19. *State and prospects for the development of science in the direction of "Biotechnical systems and technologies": a collection of articles of the 2nd All-Russian scientific and technical conference*. Anapa, 2020;1:7–14. (In Russ.)
4. Kushnarev SV, Shirshin AV. Creation of three-dimensional models based on computed tomography images (first experiment). *Russian Military Medical Academy Reports*. 2018;4:53–56. (In Russ.)
5. Vinnichenko AV. Replacement technologies of reverse engineering in additive technologies. *Scientific research of young scientists: collection of articles of the V International scientific and practical conference*. Penza, 2020:54–58. (In Russ.)
6. Glazunov VS, Cherepanova MV. Application of additive technologies in the production of ceramic products. *Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology*. 2018;4:174–187. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Степан Андреевич Пелешок**, докт. мед. наук, профессор; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9460-8126>; eLibrary SPIN: 3657-9756; Scopus Autor ID: 878788; Researcher ID: L-3028-2016 e-mail: peleshokvma@mail.ru

Александр Яковлевич Фисун, член-корр. РАН, докт. мед. наук, профессор; eLibrary SPIN: 9692-8019; e-mail: a_fisun@list.ru

Андрей Владимирович Морозов, докт. технич. наук, профессор; e-mail: era_1@mail.ru

Сергей Васильевич Калинин; e-mail: klin1260@mail.ru

Марина Ивановна Елисеева; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7731-7661>; eLibrary SPIN: 9616-2169; Author ID: 878867; Researcher ID: L-3769-2016; e-mail: eliceewa@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Stepan A. Peleshok**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9460-8126>; eLibrary SPIN: 3657-9756; Scopus Autor ID: 878788; Researcher ID: L-3028-2016 e-mail: peleshokvma@mail.ru

Aleksandr Ya. Fisun, corresponding member of RAS, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor; eLibrary SPIN: 9692-8019; e-mail: a_fisun@list.ru

Andrey V. Morozov, D.Sc. (Technical), Professor; e-mail: era_1@mail.ru

Sergey V. Kalinin; e-mail: klin1260@mail.ru

Marina I. Eliseeva; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7731-7661>; eLibrary SPIN: 9616-2169; Author ID: 878867; Researcher ID: L-3769-2016; e-mail: eliceewa@yandex.ru